

La technique du scanner pour la numérisation des plans et des cartes

Autor(en): **Eidenbenz, C.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK =
Mensuration, photogrammétrie, génie rural**

Band (Jahr): **87 (1989)**

Heft 2

PDF erstellt am: **18.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-234033>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

den müsste, um diese graphischen Grundlagen durch Handdigitalisierung in solche Systeme überzuführen ist enorm, und hindert uns beim effizienten Einsatz dieses neuen Arbeitsmittels.

Mit dem Scanner haben wir ein Instrument, welches uns erlaubt, die manuelle Digitalisierung mindestens teilweise zu automatisieren. Ein vollständiger Durchbruch wird aber erst eintreten, wenn entsprechende praxisreife Mustererkennungsprogramme zu Verfügung stehen.

Literatur:

Ade, Frank, Ilg Markus: Das Verstehen grafischer Dokumente, Technische Rundschau 37/88, Verlag Hallwag, Bern.

Beer, M.: Teilautomatisierte Aufbereitung von Kartenvorlagen in computergerechte Datenformate. Kurs «Digitale Bildverarbeitung» der Carl Kranz Gesellschaft, Aussenstelle Oberpfaffenhofen, Wessling 1981.

Egeli-Seiler, Eliane: Modellgesteuerte Analyse komplexer Strukturen und Graphiken; Diss ETH Nr. 7987, 1986.

Göpfert, Wolfgang: Raumbezogene Informationssysteme, Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe 1987.

Weber, Wiegand: Anwendungen und Konzepte der kartographischen Rasterdatenverarbeitung. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 4/84.

Weber, Wiegand: Kartographische Mustererkennung. Kartographische Nachrichten, Heft 3, 1988.

Adresse des Verfassers:

Ch. Eidenbenz

Bundesamt für Landestopographie

Seftigenstrasse 264

CH-3084 Wabern

La technique du scanner pour la numérisation des plans et des cartes

Ch. Eidenbenz (traduction J. Kneip)

Avant-propos

Le manque de données cadastrales numérisées constitue un handicap important pour l'utilisation des systèmes CAD. La numérisation des plans graphiques existants peut se faire, soit par calculs en utilisant des anciennes mesures, soit par la digitalisation avec des digitaliseurs classiques ou à l'aide du scanner. De ces méthodes, celle du scanner permet la plus grande automatisation.

Vu l'intérêt général pour cette nouvelle technique, la Commission informatique de la SSMAF a créé un groupe de travail pour étudier les possibilités et les limites actuelles du scanner, suivre son évolution et en informer la profession.

Le groupe de travail prévoit de présenter, au cours de l'année, un premier rapport sur les moyens disponibles et une classification des types d'applications réalisables aujourd'hui.

L'article ci-après, rédigé par Monsieur Ch. Eidenbenz, expose les principes généraux de la technique du scanner.

Commission informatique de la SSMAF – Groupe de travail: Scanner

1. Introduction

Le terme scanner est issu du verbe anglais «to scan» et signifie examiner ou scruter. Ainsi un capitaine en haute mer «scans» l'horizon dans l'espoir de découvrir la terre.

Aujourd'hui le terme scanner désigne un appareil permettant d'examiner un document ou un objet pour y détecter et enregistrer d'une façon continue certaines informations.

L'utilisation du scanner s'est déjà généralisée dans certaines professions:

- En médecine, on utilise le scanner pour examiner le corps humain et représenter graphiquement les différentes coupes enregistrées (tomographie).

- Dans l'exploration spatiale, le scanner est utilisé par des satellites spécialisés. Ils scrutent, le long de leur trajectoire, une bande de la surface terrestre, enregistrant différents domaines du spectre de la lumière réfléchie du soleil et nous fournissent de cette façon des images de notre planète.

- Dans l'industrie graphique, les scanners d'images font partie de l'équipement standard depuis des années déjà. Presque la totalité des clichés, utilisés pour l'impression en couleur de documents, tels que les catalogues de mode, les impressions artistiques, les livres et journaux illustrés, sont établis par le scanner. Il en va de même pour la page de couverture de notre journal

MPG. La diapositive sélectionnée par le rédacteur est balayée par le scanner dans les couleurs de base (cyan, jaune, magenta) de l'offset et restituée par plotter sous forme d'image tramée, conformément aux proportions des couleurs.

On trouve à présent, dans ce secteur, sous le nom de «Desktop-Publishing» des techniques pour traiter d'une façon intégrée le texte et l'image. Ici on assiste à un développement fulgurant de scanners bon marché pour la saisie des données (scanner pour texte et scanners portatifs).

- Dans le domaine de l'ingénieur, l'utilisation du scanner est liée aux systèmes CAD. Là, le scanner est appelé à numériser automatiquement le contenu de milliers de plans de situation, de construction et de réseaux et de les transférer dans les formats voulus dans le système CAD.

La présente publication se limite aux applications du domaine de l'ingénieur. On expliquera quelques principes de base pour la numérisation des images et leur traitement subséquent, le tout illustré par des figures.

2. Comment fonctionne la numérisation des images par scanner?

Le processus peut être facilement schématisé comme suit:

- 1) Poser sur le plan qu'on veut numériser une feuille de papier millimétré transparent en l'orientant soit selon le bord, soit selon le quadrillage du plan (fig. 1).
- 2) Inscrire dans chaque carré millimétrique qui est rempli à 50% ou plus par des traits du dessin le chiffre un et dans tous les autres carrés le chiffre zéro (fig. 2).

- 3) Le résultat sera un tableau de nombres qu'on introduit ligne par ligne dans l'ordinateur. On obtient ainsi une «image» binaire appelée bit-map.

Les données se trouvant maintenant dans l'ordinateur sont prêtes pour être traitées. Sans traitement supplémentaire, elles ne sont guère utilisables sauf pour une représentation graphique à l'écran ou une édition du bit-map sur une imprimante laser en utilisant par exemple un Desktop-Publishing programme (fig. 3).

Il est évident que l'homme ne peut se substituer au scanner, mais le principe de numérisation esquissé ci-dessus est identique dans le scanner-machine avec l'avantage qu'une telle numérisation se fait sans peine dans l'espace de quelques minutes.

L'essai est basé sur deux paramètres – la résolution géométrique et la résolution dynamique – qu'on a admis tacitement. Le carré millimétrique comme unité de surface indique le degré de la résolution géométrique et la valeur mesurée (zéro/un) dans l'unité de surface détermine le domaine des valeurs de la résolution dynamique. Ces 2 paramètres essentiels dans la technique du scanner sont décrits plus amplement dans le chapitre suivant.

3. Résolution géométrique et résolution dynamique

La résolution géométrique définit les dimensions du champ dans lequel on fait une mesure. En règle générale, ce champ a la forme d'un carré. C'est l'élément unitaire de l'image, en anglais «picture element» d'où, en abrégé le nom de PIXEL. La résolution géométrique s'exprime en:

lignes par millimètres = pixels par mm
ou dots par pouce = pixels par pouce.

Des pixels de $0,01 \times 0,01$ mm de dimensions constituent la limite de résolution nécessaire pour le traitement de documents allant jusqu'au format A0 dans la technique d'impression. Pour des petits formats utilisés plus particulièrement dans la fabrication d'éléments électroniques (chips) les exigences de la résolution géométrique se situent dans la zone du micron. La table No. 1 indique des valeurs typiques de la résolution géométrique.

Pour la numérisation des plans, on n'a pas besoin d'une résolution aussi élevée. Elle doit être réglée sur l'épaisseur minimale des traits de l'original. Pour saisir les lignes les plus fines une résolution égale à $\frac{1}{2}$ de l'épaisseur du trait le plus fin est suffisante.

Pratiquement l'épaisseur minimale d'un trait n'est guère inférieure à $\frac{1}{10}$ de millimètre. D'ailleurs, la précision du dessin lui-même se situe aux alentours de cette

valeur. La résolution de 20 lignes/mm ou 400 dots/pouce sera donc suffisante pour la numérisation.

La résolution dynamique décrit le domaine des valeurs de la mesure déterminée dans un pixel. Tout comme dans la densitométrie, on mesure, c'est-à-dire on quantifie la densité de la lumière dans les pixels.

On distingue entre la quantification binaire, la quantification des valeurs de gris et la quantification des couleurs.

La quantification binaire:

Valeur mesurée: blanc ou noir (zéro/un)

Domaine des valeurs: 1 bit par pixel

Utilisation: la numérisation des plans, des dessins au trait, des textes.

Effectivement, l'instrument mesure des valeurs de gris qui sont classées dans le noir ou le blanc selon une valeur-seuil qu'on peut choisir librement. À l'aide de ce paramètre, l'opérateur peut décider s'il veut attribuer, par exemple à un gris de 30% la valeur noire ou blanche. Il a ainsi la possibilité d'influencer quelque peu l'épaisseur du trait ou, comme on dit dans la jargon technique, s'il veut numériser «fin» ou «large» (fig. 4–6).

La quantification des valeurs de gris:

Valeur mesurée: la valeur moyenne de gris constatée dans le pixel.

Domaine des valeurs: maximum 1 byte par pixel, soit 256 valeurs de gris (on se limite souvent à 32 ou 64 valeurs).

Utilisation: la numérisation des photos en noir et blanc, des plans, des dessins et des textes (fig. 7).

La quantification des couleurs:

Valeur mesurée: une valeur moyenne pour chacune des 3 couleurs de base (rouge, vert et bleu). Les mesures se font à l'aide de filtres adéquats.

Domaine des valeurs: rouge $256 \times$ vert $256 \times$ bleu $256 = 3$ bytes par pixel ou 16 millions de couleurs.

Utilisation: la numérisation des photos et plans en couleur, des cartes et images.

4. Les réalisations techniques

La conception technique des scanners offerts sur le marché est très variable. Il se différencie essentiellement par les méthodes de balayage, d'éclairage et par la mesure de la densité lumineuse. On parle du balayage point par point et du balayage par ligne.

Pour le balayage point par point on utilise pour des grands formats (jusqu'à A0) des scanners à tambour (Hell, Optronics, Scitex) (fig. 8 et 9).

L'original flexible (film ou papier) est tendu sur le tambour. Les plans cadastraux sur plaque d'aluminium ne peuvent être traités directement, ils doivent d'abord être reproduits sur film.

Pendant le balayage, le tambour tourne à des vitesses allant jusqu'à 1000 tours par minute. La source lumineuse et la tête lec-

trice avancent ensemble sur l'original parallèlement à l'axe du tambour. Après chaque tour du tambour, elles se déplacent d'un pixel. Le balayage se fait donc par profil.

Les scanners peuvent avoir leur source lumineuse à l'extérieur (au-dessus) ou à l'intérieur du tambour, elle peut être une lumière ponctuelle ou une lumière laser.

Les scanners ayant la source lumineuse à l'extérieur du tambour se prêtent particulièrement bien pour la numérisation des documents sur papier. Des films avec dessin au trait peuvent être numérisés à condition d'intercaler entre le tambour et le film un fond blanc. Les scanners ayant la source lumineuse à l'intérieur du tambour sont utilisés pour les films avec dessin au trait ou avec des nuances de gris (photos). Dans ce cas, le tambour sera transparent. Pour la numérisation des documents en couleur, il faut une lumière ponctuelle contenant tout le spectre de la lumière du jour. Après la traversée du film, le rayon lumineux est fractionné en 3 parties qui sont quantifiées à travers des filtres rouge, vert, respectivement bleu. La lumière laser est particulièrement apte à la quantification des valeurs de gris et, grâce au parallélisme du faisceau lumineux, pour toutes les applications demandant une grande résolution géométrique.

Le balayage par ligne se fait dans les scanners où l'original repose sur une surface plate et dans les scanners où l'original se déplace au-dessus de la source lumineuse.

Dans les scanners de la première catégorie, la ligne des sensors (= CCD chip comportant jusqu'à 2000 sensors) (fig. 10) se déplace avec la source lumineuse au-dessus du document original (SysScan-scanner). Le balayage se fait par bandes successives. La source lumineuse doit éclairer toute la bande de façon uniforme et constante dans le temps. On peut avoir une quantification binaire ou une quantification des valeurs de gris.

Dans les scanners appartenant à la deuxième catégorie, plusieurs lignes de sensors sont groupées dans une rangée unique, ayant un nombre correspondant d'objectifs (Scanset, Optiscan, Anatec-Scanner) (fig. 11 et 12). Dans ces appareils, l'original est guidé par dessus la rangée des sensors grâce à un système de rouleaux. L'éclairage est assuré par un tube fluorescent éclairant toute la longueur de la ligne des sensors. On utilise dans ce type d'appareils essentiellement la quantification binaire avec la possibilité de fixer à l'avance le seuil entre noir et blanc.

La numérisation des documents avec les 2 types d'appareils décrits ci-dessus est généralement plus rapide et moins coûteuse qu'avec les scanners à tambour. La qualité de la numérisation est généralement satisfaisante. En outre, des docu-

ments plus opaques, tels que les plaques d'aluminium peuvent être traités.

Les scanners à tambour sont mieux adaptés pour traiter des documents de grand format exigeant une haute résolution géométrique. Ils sont souvent combinés avec un plotter-raster à tambour et peuvent donc servir aussi bien pour la saisie que pour la restitution. Ils sont relativement coûteux, vu les exigences de qualité très élevées. Ils sont surtout utilisés dans l'industrie graphique et les imprimeries.

5. Les données sous forme de raster: le volume, la compression, l'utilisation

Le volume de données à enregistrer dans les procédés de numérisation par scanner est extraordinairement élevé et crée encore aujourd'hui des problèmes pour le stockage et pour le traitement subséquent. Examen de quelques exemples:

Exemple No. 1:

plan cadastral, plan de repérage (monochrome)

format: 700×900 mm

résolution géométrique: 20 lignes/mm

résolution dynamique: 1 bit/pixel

volume des données: 252 Mbits = 31,5 Kbytes (correspond environ à la capacité d'une bande magnétique)

Exemple No. 2:

carte nationale avec relief

format: 480×700 mm

résolution géométrique: 40 lignes/mm

résolution dynamique: 8 bits/pixel = 1 byte/pixel

volume des données: 540 Mbytes

Exemple No. 3:

Photo aérienne en couleur

format: 230×230 mm

résolution géométrique: 80 lignes/mm

résolution dynamique: 8 bits pour le rouge, 8 bits pour le vert et 8 bits pour le bleu par pixel

volume des données: 1015 Mbytes

Le volume des données obtenu par le balayage des photos demi-teintes ou en couleur est difficilement compressible, contrairement aux données résultant du balayage des plans et dessins au trait, qui peuvent être comprimées de manière très simple. Il est frappant de constater que dans ces cas, le nombre d'éléments blancs est toujours beaucoup plus élevé que le nombre d'éléments noirs ou colorés. On constate le même phénomène si on examine une seule ligne. La méthode appelée «Runlength Codification» décompose chaque ligne en groupes ou «runs» formés uniquement par des pixels blancs ou noirs (colorés). On mémorise pour chaque groupe seulement le nombre de pixels et le type de couleur. Pour les documents en noir et blanc, on se limite à indiquer le type de couleur du premier groupe.

Exemple:

la ligne i: bbbbbbbbbb, nnnn, bbbb, nnn, bbbbbbbb, nnnnn;

10 b, 4 n, 5 b, 3 n, 9 b, 5 n;

b, 10, 4, 5, 3, 9, 5;

Avec cette codification, le volume des données à mémoriser peut être réduit jusqu'à entre 10 et 15% du volume initial.

La «Quadtree Codification» est une autre méthode de compression qui détermine des carrés composés de pixels ayant même couleur. Les côtés des carrés peuvent avoir des longueurs différentes. Elle organise les données dans une structure arborescente. Cette méthode est particulièrement apte à traiter les documents sur lesquels il faut saisir des éléments de surfaces. Elle est moins utilisée pour les documents composés essentiellement d'éléments linéaires.

Toutes ces compressions se font sans perte d'informations mais ne servent qu'à réduire le volume de stockage. Les données doivent être rétablies dans leur format initial pour les traitements à l'ordinateur, ce qui a pour conséquence d'augmenter la durée du traitement.

Les données sous forme de raster ne sont utilisables que prises globalement et en relation avec leur environnement. Un seul pixel ne contient pas assez d'informations pour être traité individuellement, il faut toujours le mettre en rapport avec les pixels du voisinage. Le raster est un modèle très simple possédant un degré d'organisation très faible.

Les rasters présentent cependant des avantages certains que les systèmes CAD n'ont guère utilisés jusqu'à présent. Ils présentent également des désavantages. Avantages et désavantages sont exposés ci-dessous dans une forme abrégée.

Avantages:

- A l'intérieur de l'ordinateur représentation des données sous forme de bit-map. Structure des données simple.
- Représentation des données sur un écran à trame sous forme d'une image expressive et fidèle à la réalité.
- Excellentes possibilités d'impression et de corrections jusqu'au niveau du pixel.
- Des données du type raster peuvent être combinées avec des données graphiques (vecteurs). Cette possibilité n'est utilisée aujourd'hui que par très peu de systèmes. A l'avenir, cette situation va changer (à l'écran: image de fond type raster et vecteurs dans l'avant-plan).
- Les techniques de traitement des images peuvent être utilisées pour les applications les plus diverses (addition, soustraction, masques, filtrage et reconnaissance des formes).
- Le raster permet une représentation de haute qualité, simple et rapide de don-

nées du type raster et vecteur, séparé ou combiné.

Désavantages:

- Aucune structure logique comme c'est le cas dans la représentation des vecteurs.
- La mise en relation des données graphiques avec des données non-graphiques comme par exemple les numéros de parcelles, de bâtiments, le nom du propriétaire, est impossible.
- Faire des opérations sur des entités entières est pénible, par exemple déplacer toute une rue ou adapter un axe.
- Les transformations géométriques particulièrement les rotations, modifient partiellement l'image (rupture des lignes) et exigent une capacité de calcul puissante.
- Les données du type raster ne peuvent pas être utilisées directement dans la plupart des systèmes CAD.

6. La vectorisation

Les systèmes CAD aujourd'hui disponibles travaillent presque exclusivement avec des données sous forme de vecteurs. Par les vecteurs, à l'aide de la géométrie, tous les objets peuvent être modélisés en deux ou trois dimensions, les éléments de base étant:

- le point
- le vecteur (= segment orienté)
- le polygone
(= suite ouverte de vecteurs)
- la surface (= suite fermée de vecteurs).

On peut définir ces éléments avec toute la précision voulue par les coordonnées. Tous les éléments peuvent avoir un ou plusieurs attributs (numéros des bâtiments ou de parcelles, propriétaire, rue, etc.). Afin de rendre les coordonnées utilisables pour les systèmes CAD, les constructeurs des scanners offrent des programmes de vectorisation, qui extraient de l'image raster les lignes et les restituent comme vecteurs ou polygones. Le système de coordonnées utilisé est celui du raster, c'est-à-dire l'origine (1, 1) dans le coin supérieur, gauche de l'écran. L'unité sur les 2 axes est le pixel.

Un des algorithmes de vectorisation le plus utilisé comprend les phases suivantes:

- 1) Amincir toutes les lignes en lignes du type «fil de fer» ou ligne «squelette» ayant la largeur d'un pixel, éventuellement déterminer l'épaisseur du trait et de sa couleur (fig. 13).
- 2) Rechercher et enregistrer tous les nœuds (sommets).
- 3) Balayer tout le raster ligne par ligne, par exemple de haut en bas pour:

- localiser les débuts des lignes sur le bord du plan, sur le suivi de la ligne ou dans les nœuds.
 - parcourir la ligne jusqu'au bord de la feuille, l'intersection avec une autre ligne ou jusqu'à un nœud.
 - enregistrer les coordonnées-pixel des points début et fin de la ligne et des points intermédiaires conformément à une tolérance donnée (fig. 14).
- 4) Transformation des coordonnées-pixel en coordonnées nationales à l'aide de points d'ajustage (par exemple le quadrillage).

Cet algorithme est très fiable mais il échoue quand il s'agit d'analyser des éléments de surface. Si les surfaces sont colorées sur l'original, on peut alors générer sur le bord de la surface une ligne d'une largeur d'un pixel à l'aide d'une commande issue de la technique de traitement des images (frame-command). Cette ligne sera ensuite vectorisée (fig. 15).

Un autre algorithme de vectorisation utilise la détection des arêtes, méthode qui fait également partie de la technique de traitement des images. Ici, on localise les bords gauche et droit d'un trait et on détermine son axe en moyennant la distance entre les 2 bords.

Malheureusement la vectorisation n'est pas parfaite. Les structures géométriques sont souvent légèrement déformées. Les lignes droites présentent dans les points intermédiaires de légères cassures, les coins sont arrondis et les éléments en forme de T subissent une déformation systématique (fig. 16). Pour pallier à ces défauts, quelques firmes offrent des programmes de post-traitement qui les corrigent automatiquement.

Les vecteurs ainsi obtenus sont souvent appelés des données-spaghetti. Elles se situent toutes sur le même niveau logique et sont juxtaposées dans le désordre. Une même suite de vecteurs peut aussi bien représenter un bâtiment isolé qu'une limite de parcelle. Les symboles circulaires des points-limites sont fractionnés en au moins 2 segments de cercles qui ne sont pas nécessairement stockés à la suite l'un de l'autre. La représentation d'un escalier se décompose dans une suite de petits vecteurs sans connections.

Ces vecteurs contiennent, malgré tout, grâce à leur forme, leur situation réciproque ou leur appartenance à un nœud commun, une foule de renseignements topolo-

giques. A l'aide de ces informations, un opérateur expérimenté peut sans autre classer tous les vecteurs, les interconnecter en éléments logiques et les attribuer au niveau correspondant à la structure du système CAD. Un tel procédé aura au moins l'avantage d'éliminer l'imprécision de la digitalisation manuelle.

Il n'est cependant pas opportun de numériser automatiquement des plans pour les restructurer après coup dans un processus interactif important.

Cette structuration ainsi que l'identification automatique des formes, des liens et des interconnections sont du domaine de la technique appelée la reconnaissance des formes.

7. La reconnaissance des formes

La théorie de la méthode de la reconnaissance des formes ne peut être qu'ébauchée dans le cadre du présent article. Cependant un article sur la technique des scanners liée à l'utilisation des systèmes CAD ne serait pas complet sans invoquer cette possibilité. La reconnaissance des formes s'est développée en même temps que la technique de traitement des images et ceci avant tout dans les domaines militaire et médical (reconnaissance et micrographie électronique).

Dans notre domaine, on entend par reconnaissance des formes, l'identification et la classification des:

- chiffres et écritures
- symboles (borne, cheville, regards, points de quadrillage)
- lignes (limites de parcelles, arêtes des constructions, bords de forêt).

On ne peut pas encore déclarer opérationnels les programmes d'application disponibles aujourd'hui pour les systèmes CAD. Ils sont en outre très différents les uns des autres au point de vue méthode et performance. Pour résoudre le problème de la reconnaissance des formes, on dispose, en généralisant, de 3 outils.

- 1) Les algorithmes de la technique de traitement des images analysent les caractéristiques de la matrice des pixels. Des résultats possibles sont: la contenance des surfaces, les formes, les moments, les étalements etc. Ces paramètres font la description des éléments cohérents de la matrice-image.

- 2) Les algorithmes géométriques traitent les données vectorisées et fournissent des paramètres tels que le courbure, la rectangularité, le nombre de nœuds, le nombre de contours fermés ou des trous.

- 3) Les algorithmes logiques font la classification selon des critères topologiques et logiques, comme par exemple: est voisin de ..., se trouve à l'intérieur de ... (dans chaque parcelle se trouve un numéro de parcelle), contient au moins ... (chaque symbole d'un point-limite contient au moins pour 2 traits limite les points de départ), etc. Il faut évidemment beaucoup de connaissances et d'expérience pour formuler efficacement ces critères.

L'ensemble de ces paramètres fournit une image typique de la forme recherchée.

Un processus de calibrage permet de déterminer les paramètres d'une forme «idéale» qui sont stockés dans une base de données. Pendant la phase de reconnaissance, les paramètres détectés sont constamment comparés aux paramètres «idéaux». Plus on arrive à détecter et à reconnaître de paramètres, plus est grande la probabilité de pouvoir classer correctement la forme analysée.

On travaille actuellement beaucoup dans ce domaine. En dehors des langages de programmation classiques, on utilise de plus en plus des langages de programmation logiques tels que LISP ou PROLOG qui permettent de formuler et de programmer de manière élégante les interdépendances topologiques.

8. Remarque finale

Dans le domaine de l'ingénieur, on travaille aujourd'hui encore avec beaucoup de documents graphiques (plans, esquisses, etc.). En même temps, les systèmes CAD font une entrée massive dans notre activité, mais l'effort à fournir pour numériser la multitude de plans graphiques par digitalisation manuelle est tel qu'il nous empêche d'utiliser efficacement ce nouvel outil de travail.

Le scanner nous fournit aujourd'hui un moyen d'automatiser la numérisation au moins partiellement. Une automatisation complète sera possible dès que les programmes de reconnaissance des formes seront opérationnels.